جغرافیا و مخاطرات محیطی، شمارهٔ نهم، بهار ۱۳۹۳

صص ۹۶-۷۵

تحلیلی بر جنبه های سینوپتیکی- دینامیکی آلودگی هوا در کرمانشاه

حسن ذوالفقاری[1]- دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه رازی کرمانشاه ، کرمانشاه، ایران

جلیل صحرایی- استادیار هواشناسی، دانشگاه رازی کرمانشاه ، کرمانشاه، ایران

فریاد شاقبادی- کارشناس ارشد آب وهواشناسی دانشگاه رازی کرمانشاه ، کرمانشاه، ایران

آذر جلیلیان - دانشجوی دکتری مخاطرات آب وهوایی، دانشگاه رازی کرمانشاه ، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۷/۲۱   تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱/۳۰

چکیده

در این مطالعه، با استفاده از داده‌های ساعتی و روزانه عناصر آلاینده، شامل مونو اکسید ازت، دی اکسید ازت، اکسیدهای ازت، مونو اکسید کربن، دی اکسید گوگرد، ریزگردها و ازن در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸٦ و همچنین نقشه‌های تولیدی پایگاه اطلاعاتی NCEP/NCAR، جنبه‌های سینوپتیک و دینامیک تشکیل و تشدید آلودگی هوا در شهر کرمانشاه مورد مطالعه قرار گرفت. برای تعیین وضعیت جوی در طول دوره‌های آلودگی هوا از نقشه‌های سینوپتیکی سطح زمین و سطوح ژئوپتانسیل ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال و همچنین برای تعیین شدت وارونگی و پایداری هوا از نمودارهای ترمودینامیکی (اسکیوتی) در استفاده گردید. نتایج نشان داد که تمام انواع آلودگی‌های هوای کرمانشاه در این دوره را می‌توان در قالب سه الگوی مشخص ارائه نمود. الگوی نوع اول (A) زمانی شکل می‌گیرد که پرفشارهای دینامیک اروپایی در دوره سرد سال با پرفشار کوچک قفقاز ادغام شده و تا منطقه زاگرس جنوبی نفوذ می‌کنند. این وضعیت سبب پایداری هوا و کاهش ارتفاع لایه وارونگی دما شده و شدیدترین آلودگی‌های هوا را موجب می‌شود. در الگوی نوع دوم (B)، پرفشارهای آسیائی و سیبری که ناشی از سرمایش سطح زمین در دوره سرد سال هستند، با نفوذ به ایران از سمت شمال شرق و گسترش تا ارتفاعات زاگرس، شرایط را برای تقویت پایداری هوا در کرمانشاه فراهم می‌کنند. در الگوی نوع سوم (C) آلودگی‌های که می‌توان آن را آلودگی ذرات معلق نیز نامید با استقرار فرود مدیترانه‌ای در شرق این پهنه آبی تا شبه جزیره عربستان در سطوح بالای جوی و تقویت سیستم کم فشار دینامیک در سطح زمین، انتقال ریزگرد بیابان‌های عراق و سوریه به داخل ایران و از جمله کرمانشاه، صورت می‌گیرد.

کلیدواژه‌ها: آلودگی هوا، تحلیل سینوپتیکی-دینامیکی، پرفشار حرارتی، کم فشار دینامیک، کرمانشاه.

۱ نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۵۱۸٤۱۰۱٤   Email: h_zolfaghari2002@yahoo.com

۱. مقدمه

از مهم‌ترین شرایط ایجاد گرد و غبار در کنار هوای ناپایدار وجود یا عدم وجود رطوبت است؛ به‌طوری‌که اگر هوای ناپایدار رطوبت کافی داشته باشد بارش و طوفان رعد و برق و اگر فاقد رطوبت باشد، طوفان گرد و غبار ایجاد می‌کند (علیجانی؛۱۳۷٦: ۹۵). فراوانی ذرات گرد و غبار در جو علاوه بر شدت و سرعت باد و خشکی ذرات خاک، به اندازه قطر ذرّات نیز بستگی دارد. نوع پوشش گیاهی نیز در شدت وقوع گرد و غبار نقش مؤثرتری بازی می‌کند. کاهش قدرت دید یکی از ویژگی‌های اصلی سیستم‌های گرد و غباری می‌باشد که علاوه بر آثار ناخوشایند بهداشتی مثل مشکلات تنفسی و ریوی و آلوده کردن محیط زندگی، اختلالاتی را در سیستم‌های حمل و نقل هوایی به وجود می‌آورد. به‌طوری‌که بارها در سال‌های اخیر شاهد وقوع این وضعیت بوده‌ایم که پرواز بسیاری از فرودگاه‌های جنوبی و غربی به خاطر بالا بودن میزان ذرات گرد و غبار در هوا و کاهش میزان دید لغو شده است. علاوه بر این قدرت دید یکی از معیارهای اندازه گیری قدرت طوفان‌های گرد و خاک نیز می‌باشد.

وضعیت جوی در هر روز، متأثر از شرایط سینوپتیکی حاکم بر منطقه در آن روز است (کاویانی و علیجانی؛ ۱۳۸٤: ۲۷٤). به عبارت دیگر، ناشی از آرایش سامانه‌های جوی نسبت به یکدیگر و خصوصیت دینامیکی و ترمودینامیکی حاکم بر آن‌هاست. ازاین‌رو، الگو سینوپتیکی در برخی اوقات به‌گونه‌ای است که شرایط پایداری و آرامش را در جو حاکم ساخته و در نتیجه به دلیل تراکم مواد آلاینده در لایه‌های زیرین و فقدان جریان‌های جوی و یا ضعیف بودن شدت آن‌ها، شدت آلودگی افزایش یافته و یا الگوی سینوپتیکی حاکم به‌گونه‌ای است که جو را ناپایدار ساخته و به دلیل شدت یافتن جریان‌های قائم و افقی، عناصر آلاینده در داخل جو پخش شده و غلظت آن‌ها کاهش می‌یابد (لشکری و هدایت، ۱۳۸۵).

شهر کرمانشاه در سال‌های اخیر با گسترش شهرنشینی، استفاده بیشتر از وسایل نقلیه موتوری و توسعه صنایع روبرو بوده است که این عوامل منجر به افزایش تراکم عناصر آلاینده در جو این شهر شده است. افزایش غلظت عناصر آلاینده در برخی از مواقع مشکلات بسیاری را برای شهروندان از جمله کودکان، بیماران و افراد سالمند ایجاد کرده است. بنابراین بررسی مسئله آلودگی هوا و عوامل ایجاد کننده آن نیاز جامعه این شهر است که در این بررسی، باید روند آلودگی روزانه هوا با توجه به عناصر آلاینده، سیستم‌های سینوپتیک مؤثر بر آلودگی هوا و شرایط جوی هریک از این سیستم‌ها یا الگوهای سینوپتیک که در آلودگی هوا نقش دارند، تعیین شود.

بررسی آلودگی هوا با توجه به شرایط اتمسفر و نقش آن در بروز این پدیده، همواره مورد توجه بسیاری از محققان بوده است که در زیر به برخی از آن‌ها پرداخته شده است.

ککویلو و اندراد (۲۰۰۲) در تحقیقی که در برزیل در مورد ارتباط سیستم‌های هواشناسی با غلظت آلاینده ذرات معلق انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که غلظت آلاینده‌ها در درون سیستم‌های سینوپتیک دارای فشار بالا، بخصوص سیستم سینوپتیک پرفشار جنب‌حاره‌ای اطلس جنوبی افزایش پیدا می‌کند.

فیناردی و پیلیگرنی (۲۰۰۲) شرایط سینوپتیکی حاکم بر یک آلودگی بسیار شدید هوای شهری در دره پو واقع در ایتالیا را در ژانویه ۲۰۰۲ بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که فرا رفت هوای گرم بر روی لایه سرد نزدیک سطح زمین منجر به ایجاد ساختار دمایی پایدار در اتمسفر پایین می‌گردد. وارونگی و یا نمایه‌های قائم دمای بسیار پایدار در ارتفاعات صفر و دو هزار متری در موارد آلودگی‌های شدید دیده می‌شود. بررسی نقشه‌های سینوپتیکی و آنالیز وضعیت جوی نشان می‌دهد که در تمام موارد سامانه‌های پرفشار در سطح زمین حاکم بوده است.

چلیک و کاوی (۲۰۰٤)، ارتباط بین فاکتورهای هواشناسی و غلظت آلودگی هوا در شهر کارابوک ترکیه را از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ بررسی کردند. در این مطالعه با استفاده از اطلاعات ساعتی به دست آمده از سازمان هواشناسی و محیط زیست تحلیل‌های لازم صورت گرفت. آنان با استفاده از تحلیل رگرسیون خطی چندگانه بین مقدار آلودگی و فاکتورهای هواشناسی در این پژوهش مشخص کردند که فاکتورهای هواشناسی در مورد مسئله آلودگی نقش دوگانه‌ای را ایفا می‌کنند. فاکتورهایی از قبیل افزایش سرعت باد، افزایش دما و افزایش رطوبت نسبی همگی در تعدیل آلودگی نقش مهم‌تری دارند و کاهش مقدار این عناصر می‌تواند شرایط عکسی را به دنبال داشته باشد.

علیجانی (۱۳۸۳)، در پژوهشی سعی کرده است رابطه بین تغییرات غلظت آلاینده‌های تهران و توزیع فشار را بررسی کرده و الگوهای مؤثر را شناسایی کند. محقق با استفاده از روش‌های آماری تحلیل مؤلفه‌های اصلی و خوشه بندی پراکندگی فشار، تیپ هوایی موجود در روزهای آلوده به شش تیپ هوایی به شرح آنتی سیکلون شمالی، آنتی سیکلون سیبری، آنتی سیلکون غربی، کم فشار خراسان و تیپ مداری طبقه بندی کرد. نتایج این مطالعه نشان داد که این تیپ‌ها بیشتر در فصل پاییز فراوان بوده‌اند. توالی‌های آلودگی طولانی مدت توسط تیپ مداری و توالی‌های کوتاه مدت توسط الگوی کم فشار خراسان به وجود آمده‌اند.

گندمکار (۱۳۸۵) با بررسی وضعیت سینوپتیکی هوا در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸٤ و مقایسه آن با آمار عناصر آلایندهٔ هوای اصفهان در همین زمان سعی کرده تا نقش پرفشار سیبری را در آلودگی هوای شهر اصفهان مشخص کند.

قسامی و همکاران (۱۳۸٦)، به بررسی شرایط سینوپتیکی حاکم در چند دوره بحرانی آلودگی هوای شهر تهران از سال ۲۰۰۱ تا سال ۲۰۰۲ میلادی پرداخته‌اند. در این بررسی عمده‌ترین آلاینده‌های شهر تهران شامل مونواکسید کربن (O2) و دی اکسید نیتروژن (NO2)، مورد مطالعه قرارگرفته است و تأثیر پدیده‌های هواشناسی از قبیل وارونگی دمایی همراه با شرایط سینوپتیکی بر کمیت و کیفیت آلاینده‌ها بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد زمانی که پرفشار منطقه‌ای (منطقه‌ایران) از نوع سامانه عرض‌های میانه است، غلظت آلاینده‌ها افزایش یافته و گاهی اوقات ممکن است تا دو یا سه برابر حد مجاز باشد.

علاوه بر کارهای فوق‌الذکر، بلوکی (۱۳۷۹)، امیری (۱۳۸۵)، شرعی پور و علی اکبری بیدختی (۱۳۸۸)، خراسانی و همکاران (۱۳۸۱)، صفوی و علیجانی (۱۳۸۵)، عابدینی (۱۳۷۸)، عزتیان (۱۳۸٦) و نافع (۱۳۸۰) نیز در زمینه نقش عوامل اقلیمی بر آلودگی هوای شهرها مطالعاتی انجام داده‌اند که در همه این مطالعات، محققان به رابطه میان آلودگی هوا و الگوهای سینوپتیکی پرداخته‌اند.

بنابراین برای بررسی و شناخت آلودگی هوا با توجه به وضعیت جوی و شرایط سینوپتیک، ابتدا باید دوره‌های آلوده جو شناخته شود. در تمام مطالعات ذکر شده، محققان با بررسی شرایط سینوپتیکی در روزهای استیلای آلودگی هوا، به بررسی نقش شرایط و رفتار اتمسفر در پایداری و یا تشدید آلودگی هوا پرداخته‌اند. در تحقیق حاضر نیز با استفاده از این روش، آن دسته از شرایط و الگوهای جوی که باعث افزایش یک یا چند آلاینده در جو شده است شناسایی می‌شود. هدف این مطالعه نیز شناسایی الگوهای سینوپتیک در زمان استقرار آلودگی در جو شهر کرمانشاه می‌باشد.

۲. منطقه مورد مطالعه

کرمانشاه، مرکز استانی به همین نام در غرب ایران است که به عنوان یکی از هفت کلان‌شهر کشور حدود یک میلیون نفر جمعیت را در خود جای داده است. این شهر در عرض جغرافیایی ۳٤ درجه و ۲۳ دقیقه شمالی و ٤۷ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی و در ارتفاع متوسط حدود ۱۳۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. گسترش فزاینده و بی رویه شهر، افزایش تعداد اتومبیل‌ها و استقرار تعداد زیادی از صنایع بزرگ و کوچک و همچنین افزایش فراوانی ورود سیستم‌های گرد و غبار به منطقه طی سال‌های اخیر، باعث تشدید آلودگی هوا در این شهر شده است.

۳. مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر، برای تعیین شرایط و الگوهای ایجاد کننده آلودگی هوا در کرمانشاه، از نقشه‌های سینوپتیک تراز زمین و ترازهای مختلف جو استفاده شده است. دیگر داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل موارد زیر است:

- داده‌های آلودگی هوا مربوط به ایستگاه پایش آلودگی هوا در زیباپارک در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸٦، اخذ شده از بخش محیط انسانی اداره کل حفاظت محیط زیست استان کرمانشاه.
- داده‌های هواشناسی مربوط به دوره مورد نظر اخذ شده از بخش خدمات هواشناسی کشور.
- نقشه‌های میانگین روزانه فشار سطح زمین و سطوح ژئوپتانسیل ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال تهیه شده از تارنمای NOAA.
- نمودارهای اسکیوتی، در ساعات مختلف برای ایستگاه کرمانشاه اخذ شده از تارنمای دانشگاه وایومینگ.

روش مورد نظر در این تحقیق، روش سینوپتیک است که طی مراحلی به شرح زیر خلاصه انجام گرفته است:

۱- انتخاب دو ایستگاه با داده‌های مختلف شامل ایستگاه هواشناسی شهر کرمانشاه و ایستگاه پایش آلودگی هوا در زیبا پارک برای دستیابی به عناصر آلاینده.

۲- مسیریابی سامانه‌های فشار که عامل تقویت کننده یا تضعیف کنندهٔ آلودگی هوای کرمانشاه بوده‌اند.

۳- برای شناسایی روزهای همراه با آلودگی هوا در شهر کرمانشاه داده‌های ساعتی و روزانه آلودگی مربوط به ایستگاه پایش آلودگی هوا برای آلاینده‌های جوی (O_3،SO_2،CO، NOx،NO_2،NO) بر اساس شاخص PSI (شاخص استاندارد آلودگی هوا) به کار گرفته شد. بر این اساس میانگین داده‌های عناصر آلاینده در بازه‌های زمانی متفاوت تهیه شد تا با استفاده از آن‌ها مشخص شود کدام یک از عناصر آلاینده از آستانه تعیین شده برای آن‌ها فرا رفته است. جهت انجام این امر از جدول ۱ و نرم افزار محاسبه شاخص PSI تهیه شده توسط شرکت ملی گاز ایران کمک گرفته شد تا میزان PSI و وضعیت کیفیت هوا در هر روز تعیین شود.

جدول ۱ وضعیت کیفیت هوا با توجه به شاخص **PSI**(اردکانی و همکاران،۱۳۸۵)

شاخص PSI	کیفیت هوا	شرح
۰-۵۰	پاک	کیفیت هوا رضایت بخش و آلودگی هوا به میزان کم یا بدون خطر است.
۵۱-۱۰۰	سالم	کیفیت هوا قابل قبول است، اگرچه برای درصد کمی از افرادی که نسبت به آلودگی هوا حساس هستند ممکن است خطر ساز باشد.
۱۰۱-۲۰۰	ناسالم	ممکن است بر روی سلامتی تعدادی از گروه‌های حساس جامعه تأثیر داشته باشد و برای گروه‌های حساس به آلودگی خطر جدی تلقی شود.
۲۰۱-۳۰۰	بسیار ناسالم	سلامتی افراد در معرض آسیب جدی قرار دارد.
۳۰۱<	خطرناک	شرایط اضطراری، کلیه سطوح جامعه در معرض آلودگی هوا قرار دارند.

بر پایه استخراج آمار روزانه و ساعتی از داده‌های آلودگی هوا و پس از آن تعیین تاریخ رخداد دوره آلودگی در هر ماه و طی هر سال، جدول روزهای آلوده در شهر کرمانشاه تشکیل شد و سپس بر مبنای توالی روزها در داخل این جدول، دوره‌های آلودگی هوا مشخص شد. جهت ردیابی موج‌ها، شناسایی منشاء و نحوه جابجایی آن‌ها از منشاء تا شهر کرمانشاه و محل قرارگیری محورهای فرود، نقشه‌های میانگین فشار در سطح دریا و سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین به منظور تعیین میزان ناپایداری و رطوبت موجود در هوا از نمودارهای اسکیوتی مربوط به این روزها برای ساعت‌های صفر و دوازده گرینویچ استفاده شده است.

میانگین برخی از پارامترهای هواشناسی در طول دوره‌های آلودگی هوا در هر کدام از الگوها نیز در این تحقیق بررسی شده است که عبارت‌اند از میانگین فشار در سطح زمین بر حسب هکتوپاسکال، میانگین دمای هوا در سطح زمین بر

حسب درجه سانتی‌گراد، میانگین رطوبت نسبی هوا در سطح زمین بر حسب درصد، میانگین سرعت باد در سطح زمین بر حسب نات(knot)، میانگین جهت باد در سطح زمین، میانگین ارتفاع اینورژن‌ها بر حسب متر، متوسط شدت وارونگی‌ها.

شدت وارونگی در این تحقیق از نسبت اختلاف دمای پتانسیل در لایه وارونه به ارتفاع لایه وارونه ($\frac{\partial\theta}{\partial z}$) به دست آمده است. در این فرمول، $\partial\theta$ دمای پتانسیل و ∂z ارتفاع جو می‌باشد. (رتالاک؛۱۳٦۵: ۱۰۸). اگر وارونگی کمتر از ۰،۰۳۰ باشد، شدت اینورژن کم، بین ۰،۰۳۱ تا ۰،۰٤۰ متوسط و بیشتر از ۰،۰٤۱ شدت اینورژن شدید در نظر گرفته می‌شود (قسامی و همکاران؛ ۱۳۸۵).

٤. نتایج و بحث

بازیابی هسته‌های فشار همراه با خاستگاه و مسیر سامانه‌های فشار مؤثر بر آلودگی هوا طی روزهای آلوده در دوره‌های مختلف بر اساس نوع آلاینده مسئول در این مرحله مورد توجه قرار گرفت. در این رابطه، سامانه فشار تأثیرگذار از روی نقشه‌های میانگین روزانه فشار تارنمای سازمان NOAA، که عمدتاً شامل موج‌ها ۳ روزه یا ٤ روزه بودند، مورد بررسی دقیق قرار گرفتند. بدین ترتیب، با بررسی نقشه‌های فشار در تراز زمین و تطبیق آن با نقشه‌های میانگین ارتفاع سطوح ژئوپتانسیل ۸۵۰ ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، سامانه مؤثر بر آلودگی هوا شناسایی شد. با توجه به مشابهت‌های رفتاری آلودگی‌های جوی در هر سامانه فشاری، یکی از دوره‌ها به عنوان دوره نمونه و شاخص در هر الگو انتخاب شد. بدین ترتیب، جزئیات بیشتری از رفتار هر کدام از سامانه‌ها شناسایی شده و در نهایت، سامانه اصلی تاثیرگذارآشکار گردید. در بررسی الگوها نیز ابتدا یکی از دوره‌ها که حاکمیت یک الگوی معینی را نشان می‌داد، انتخاب و تغییرات روزانه آن مورد مطالعه قرار گرفت. بدین ترتیب، با توجه به آرایش سامانه‌ها در سطح زمین و ترازهای بالاتر و همچنین شرایط سینوپتیکی و دینامیکی حاکم بر آن‌ها در سه گروه عمده قرار گرفتند که تحت عنوان الگوهای نوع A، B وC نام‌گذاری شدند. در ادامه به بررسی شرایط جوی کرمانشاه در زمان استیلای هر یک از این سه الگو و تأثیر آن‌ها درآلودگی هوای این شهر پرداخته شده است.

در این مطالعه با بررسی به عمل آمده از داده‌های آماری مربوط به آلودگی هوای کرمانشاه که به صورت ساعتی و در مدت دو سال آلوده (۱۳۸۵–۱۳۸٦) تهیه شده است، روزهایی که در آن‌ها میزان ذرات معلق (برحسب میکروگرم بر متر مکعب) از میزان بی خطر، عبور کرده بود شناسایی شد. همچنین در این مطالعه، به منظور کاهش خطا در تفکیک سامانه‌های گرد و غباری، از گرد و غبارهای محلی به عنوان شرط اصلی برای قبول یک موج ریزگرد استفاده شد. برای این کار، وجود حداقل سه ایستگاه دارای گرد و غبار در طی حداقل سه روز در نظر گرفته شد. این سه ایستگاه با توجه به داده‌های در دسترس در محدوده استان کرمانشاه انتخاب شدند که ایستگاه‌های اسلام آباد، کنگاور و سرپل ذهاب را شامل می‌شدند. پس از دریافت داده‌های قدرت دید از ایستگاه‌های مذکور و تطبیق آن‌ها با اطلاعات جوی و آلودگی هوا در شهر کرمانشاه، موج‌های اصلی گرد و غباری در شهر کرمانشاه طی دو سال مورد مطالعه، شناسایی شدند. پس از

شناسایی اولیه تعداد موج‌های گرد و غباری طی دوره مورد مطالعه، جهت شناسایی منشاء و مسیر حرکت سیستم‌های گرد و غبار بررسی‌های لازم صورت گرفت. روش مورد استفاده برای شناسایی موج‌های ریزگردی در کار دیگر پژوهشگران از جمله کار ذوالفقاری و عابدزاده (۱۳۸٤) نیز مورد تاکید قرارگرفته است.

شرایط سینوپتیکی - دینامیکی الگوی نوع اول (A) آلودگی هوا

در این بررسی ابتدا با استفاده از داده‌های ساعتی و روزانه عناصر آلاینده شامل NO،NO_2، NOx، CO، SO_2، O_3)، بر اساس آستانه عناصر مختلف (جدول ۱)، وضعیت کیفیت هوا مشخص گردید. سپس اقدام به مشخص نمودن روزهایی شده که مقادیر آلاینده‌ها از حد معمولی (منظور شرایطی است که میزان آلودگی موجود در جو برای انسان خطرات جدی به همراه ندارد) تجاوز کرده بودند. در این روزها بسته به شرایط موجود یک یا چند عنصر آلاینده از مقدار معمول تجاوز کرده است. بررسی‌های بیشتر در این زمینه نشان داد که این روزها یا به‌طور متوالی آلودگی را تجربه کرده‌اند و یا به‌طور متناوب در آن‌ها میزان آلاینده‌ها، برای ساعاتی به‌طور ناگهانی افزایش پیدا کرده است. در جدول ۲، تعداد روزهای همراه با آلودگی به تفکیک سال و ماه ارائه گردیده است. همان‌طوری که داده‌های جدول نیز نشان می‌دهند فراوانی وقوع روزهای آلوده در ماه‌های آبان، آذر و اسفند بیشتر از ماه‌های دیگر بوده است.

جدول ۲ تعداد روزهای همراه با آلودگی هوا و میانگین شاخص **PSI**

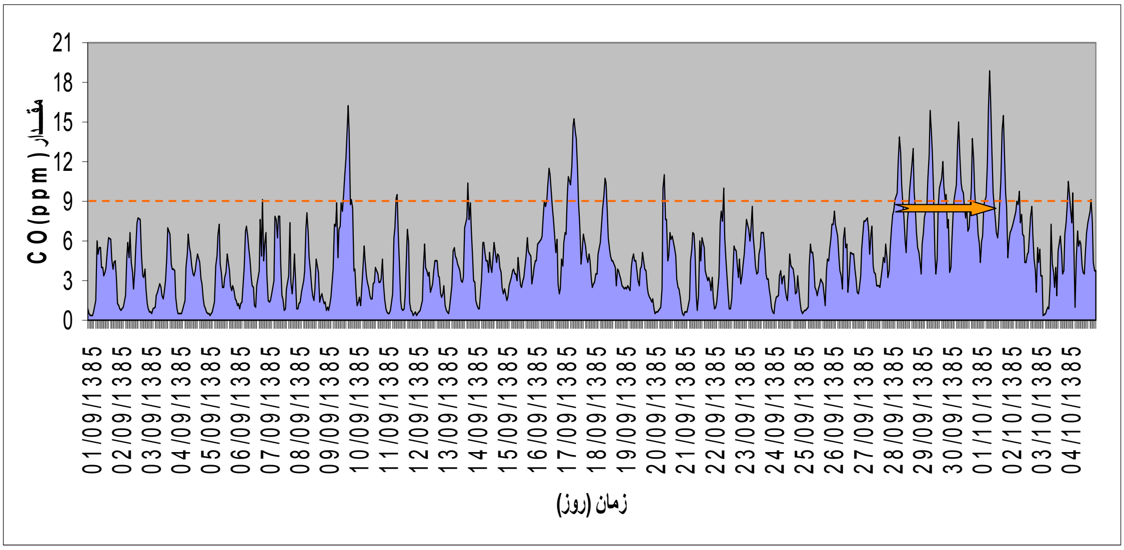
ماه / سال	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
۱۳۸۵	٤	۳	۳	۳	٤	۳	۳	۷	٦	۱	1	-
میانگین شاخص PSI	۱۵۳٫۵	۱۰۲	۱۸۲٫٤	۱۰۲	۱۰۲٫۸	۱۰۱	۱۰۳٫۳	۱۲۹٫۷	۱۲۱٫۵	۱۱۷	۱۰۱	–
۱۳۸٦	–	۲	۳	۲	–	۱	۱	٤	۷	٤	۳	۸
میانگین شاخص PSI	–	۱۰۱	۱۱۷٫۷	۱۰۲	–	۱۰۱	۱۰۳	۱۲۹٫۲	۱۰۸٫۹	۱۰۸٫۷	۲۰۳٫۷	۱۸۵٫۲

همان‌طور که در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است، یک دوره بحرانی آلودگی هوا از روز ۲۸ آذر تا ۱ دی ۱۳۸۵ دیده می‌شود. در این دوره، با بررسی به عمل آمده از مقادیر تمام عناصرآلاینده، مشخص شد که فقط

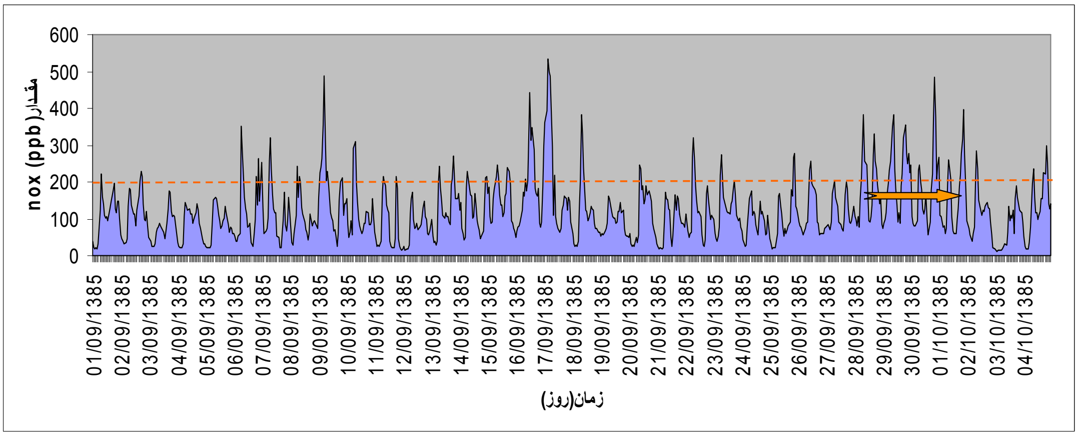
آلاینده‌های COوNO_x به عنوان آلاینده‌های مسئول در آلودگی هوا شناخته شده و مقادیر دیگر آلاینده افزایش چندانی را نشان نمی‌دهند. طبق جدول ۱ که با توجه به آستانه عناصر آلاینده‌ها تهیه شده است، ملاحظه می‌شود که مقدار هر دو عنصر آلایندهٔ COوNO_x در این دوره از مقدار بی خطر تجاوز نموده و به مرحله بحرانی رسیده است.

بررسی روزانه مقادیر آلاینده‌های مذکور در این دوره نیز نشان می‌دهد که مقدار هر کدام از آلاینده‌ها در طول شبانه روز دو بیشینه را تجربه کرده‌اند، یکی از بیشینه‌ها در ساعات اولیه صبح آغاز شده و تا قبل از ظهر و گرمایش سطح زمین ادامه دارد که علت آن را می‌توان به تردد بیشتر وسایل نقلیه و شروع به کار ساعات ادارات، مدارس و صنایع دانست. بعد از این مقدار بیشینه، مقادیر آلاینده شروع به کم شدن کرده و در ساعاتی بعد از گذشت ظهر به حداقل خود می‌رسد، سپس در اثر تردد بیشتر وسایل نقلیه مقدار آن‌ها افزایش پیدا کرده و یک بیشینه دیگر را شکل می‌دهند که به علت نبود شرایط لازم در محیط مقدار آن‌ها معمولاً از مقدار بیشینه اول کم‌تر است. در نهایت با نزدیک شدن به ساعات نیمه شب به علت کاهش عبور مرور و تردد به یک مقدار کمینه می‌رسد.

گرچه، الگوی مذکور در اکثر روزها مشاهده می‌شود ولی در بعضی از روزها به دلیل داشتن پتانسیل بالا از نظر سینوپتیکی و دینامیکی، امکان پراکنش مواد آلاینده در جو وجود ندارد؛ بطوریکه سبب تجمع و افزایش تراکم آلاینده‌ها در لایه مرزی می‌شود. درحالی‌که، در روزهای دیگر، به دلیل مهیا شدن شرایط لازم برای پخش و انتشار عمودی و افقی آلاینده‌ها، از میزان غلظت آلاینده‌ها و شدت آلودگی‌ها کاسته می‌شود.



شکل ۱ تغییرات میزان **CO** درآذرماه ۱۳۸۵ در کرمانشاه



شکل ۲: تغییرات میزان **NOx** درآذرماه ۱۳۸۵ در کرمانشاه

تحلیل سینوپتیکی-دینامیکی دوره بحرانی ۲۸ آذر تا ۱ دی ماه ۱۳۸۵

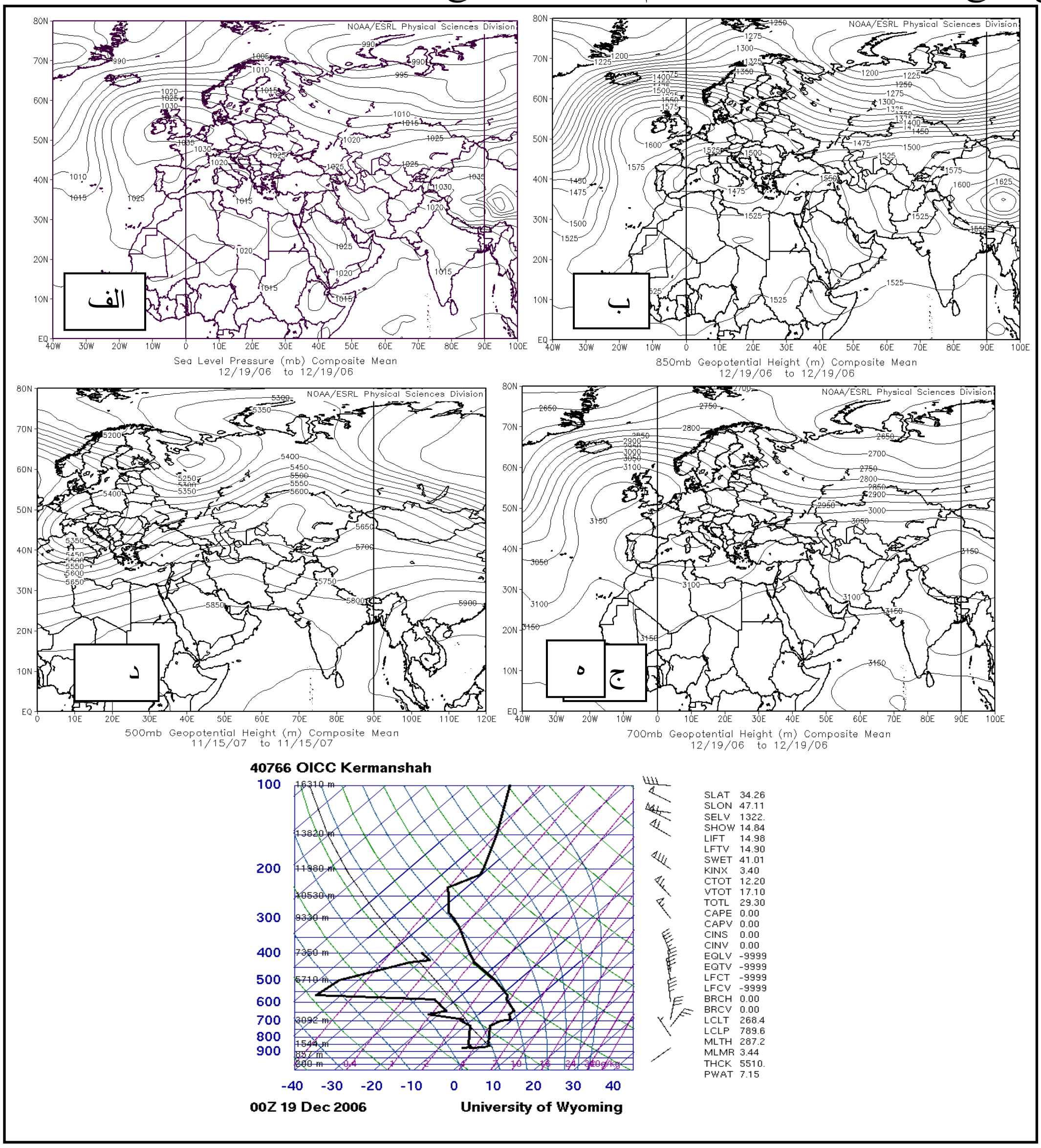
آرایش سامانه‌ها در تراز سطح زمین (شکل ۳ الف) در روز ۱۹ دسامبر ۲۰۰۶، وجود چند مرکز پرفشار حرارتی و دینامیکی را نشان می‌دهد. یکی از این پر فشارها، در اثر گسترش زبانه‌های پرفشارسطحی سرمایشی روی جنوب چین تشکیل شده است که دارای چندین هسته بوده و هسته آن با فشار مرکزی ۱۰۴۲٫۵ هکتو پاسکال بر شمال رشته کوه‌های هیمالیا منطبق شده است. زبانه‌ای از آن، با فشار ۱۰۲۰ هکتوپاسکال با عبور از روی افغانستان، بخش‌هایی از ناحیه شرقی و جنوب شرقی ایران را تحت تأثیر قرار داده است. این زبانه، سپس با عبور از روی خلیج فارس در امتداد نصف النهاری وارد شبه جزیره عربستان شده که اثر چندانی بر روی بقیه نواحی ایران ندارد. بررسی نقشه‌ها نشان می‌دهد که طی روزهای بعد، این سامانه به‌طورکلی از ایران عبور کرده است. در الگوی نوع A، دو سامانه نقش اساسی را در ایجاد آلودگی جوی در شهر کرمانشاه بر عهده دارند. یکی از این سامانه‌ها، مرکز پرفشاری مربوط به پرفشار دینامیکی اروپایی است که فشار مرکزی آن ۱۰۳۵ هکتوپاسکال است. زبانه شرقی آن با امتداد شمال غربی-جنوب شرقی به اروپا و شمال دریای سیاه نفوذ کرده است. این سامانه در روزهای بعد، گسترش بیشتری به سمت شرق نشان می‌دهد. سامانه دیگری نیز در این روز مشاهده می‌شود که از نوع منطقه‌ای است. در شروع روزهای بحرانی، در نواحی غربی و شمال غربی کشور، شاهد حضور چند مرکز پرفشار سطحی هستیم که در اثر سرمایش سطح زمین به وجود آمده‌اند. یکی از این سلول‌ها بر روی رشته کوه‌های آرارات بسته شده است. این پرفشار نیز با شروع دوره و با همکاری پرفشار اروپایی نقش مهمی در افزایش میزان پایداری در منطقه ایفا می‌کند (شکل ۳ الف). در روز شروع دوره بحرانی زبانه‌ای از این پرفشار با فشار ۱۰۲۵ هکتوپاسکال و با جهت شمال غربی-جنوب شرقی از سمت شمال غرب، وارد ایران شده و تا نواحی مرکزی گسترش پیدا کرده است. با چرخش این سلول پرفشار، هوای سرد قطبی با هوای سرد منطقه قفقاز آمیخته شده و بر ناحیه شمال غرب و غرب ایران حاکم گشته است. این

شرایط باعث سبب پایین آمدن دما در سطح زمین شده است. به‌طوری‌که دمـای هـوای کرمانـشاه در ایـن روز بـه ۲- درجه سانتی‌گراد رسیده است. بررسی اسکیوتی مربوطه در این روز نیز از وجود وارونگی تابـشی در سـطح زمـین تـا ارتفاع ۲۰۰ متری خبر می‌دهد که شدت متوسط آن نیز (۰،۰۳۱) مـی‌باشـد (شـکل ۳ د). جهـت بـاد در سـطح زمـین جنوب غربی و با سرعت (۱-۲ نات) می‌باشد. رطوبت نسبی هوا نیز با توجه به انطباق منحنی‌های دمای نقطـه شـبنم و دمای هوا در سطح زمین ۱۰۰٪ بوده که اشباع شدن هوا سبب تشکیل مه صبحگاهی در سطح منطقه شـده اسـت. ایـن عامل یعنی افزایش رطوبت با تشکیل مه در سطح زمین یکی دیگر از دلایل افزایش آلودگی هوا می‌باشد.

نقشه سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۳ ب)، در این روز شباهت زیادی به الگوی سطح زمین دارد. در ایـن سـطح یک مرکز واچرخندی برروی شمال چین بـا منحنـی ۱۷۰۰ ژئوپتانـسل متـر بـسته شـده اسـت. زبانـه‌هـای غربـی آن بخش‌هایی از شرق کشور را متأثر نموده‌اند. یک مرکز چرخنـدی نیـز بـر روی طـول ۸۰ درجـه شـرقی و عـرض ۷۰ درجه شمالی (بر روی شمال سیبری) با منحنی ۱۱۷۵ ژئوپتانسیل متر بسته شده است. این چرخند با دو هسته و چهـار منحنی بسته از انرژی زیادی برخوردار است. زبانه این سامانه کم ارتفاع تا شمال دریای مازندران و دریـای سـیاه نفـوذ کرده است. بخش غربی ایران تحت تأثیر سلول واچرخندی مستقر بر روی شبه جزیره عربستان، عراق و غـرب ترکیـه قرار دارد. گردش این سامانه، هوای سرد ریزش کرده از عرض‌های بالا که ناشی از پر فـشار قطبـی اسـت را بـا امتـداد شمالی- جنوبی وارد ناحیه شمال غرب و غرب کرده و جو شهر کرمانـشاه را تحـت تـأثیر خـود قـرار داده اسـت. در نتیجه جهت جریانات بر روی شهر کرمانشاه شمالی-شمال غربی بوده که سبب ریزش هوای سرد عرض‌هـای بـالا بـر روی شهر کرمانشاه می‌شود. بررسی این سطح در روی اسکیوتی مربوط به این روز نیز از وجود پایداری در ایـن تـراز و ترازهای بالاتر خبر می‌دهد به‌طوری‌که روند تغییرات دمایی تا تراز ۷۵۰ هکتوپاسکال، کاهشی می‌باشد.

در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۳ ج)، یک مرکز کم ارتفاع با منحنی بسته ۳۰۰۰ ژئوپتانسیل متر در طول ۱۰ درجه شرقی و عرض ٤۲ درجه شمالی (بر روی ایتالیا) بسته شده است. زبانه‌های این مرکز با جهـت جنـوب غربـی-شـمال شرقی تا غرب دریای خزر ادامه دارند که سبب ایجاد یک پشته با مرکز ارتفاع زیاد در غرب دریای خزر با ارتفاع ۳۱۰۰ ژئوپتانسیل متر شده است. محور پشته، دارای امتداد شمال شرقی-جنوب غربی است و جهت جریانات در ایـن سـطح برای شهر کرمانشاه با توجه به اسکیوتی مربوطه تا حدودی شمال شرقی است. همچنین چینش جهت جریانات جـوی از لایه‌های زیرین به بالا در روی نمودار اسکیوتی، مخالف عقربه‌های ساعت بوده و از فرا رفـت هـوای سـرد در جـو بالای ایستگاه خبر می‌دهد. به این ترتیب شرایط دینامیکی حاصل از فعالیت سامانه فوق سبب شده است بـر اثـر نـزول هوا در این لایه، پایداری جو کرمانشاه افزایش یابد. اسکیوتی‌های مربوطه در این دوره از وارونگی دمایی حاصل از فرو نشست هوا از سطح ۷۵۰ هکتوپاسکال تا ۷۰۰ هکتوپاسکال خبر می‌دهند. در نتیجـه سـکون و آرامـش هـوا بـر شـهر کرمانشاه حاکم بوده از سطح زمین تا سطوح بالا نشست صعودی صورت نگرفته است. این شرایط باعث ایجاد آلودگی

هوا و افزایش غلظت آلاینده‌ها شده است؛ مخصوصاً لایه وارونه دوم همانند یک سقف بر جو این منطقه قرارگرفته که مانع خروج آلاینده‌ها از جو شهر شده و تراکم آلاینده‌ها را در سطح زمین افزایش داده است.



شکل ۳ نقشه‌های ۱۹ دسامبر ۲۰۰٦ در سطح زمین (الف)، تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (ب)، تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (ج)، تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (د) و نمودار اسکیوتی در همین روز (ه).

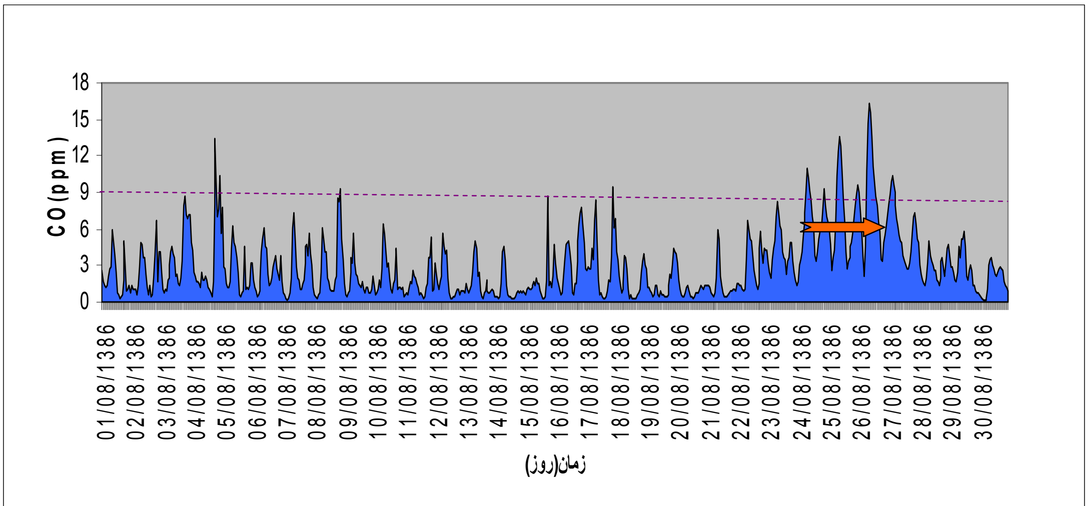
شرایط سینوپتیکی- دینامیکی الگوی نوع دوم (B) آلودگی هوا

بررسی نقشه‌های میانگین روزانه فشار و گردش‌های سطوح ۸۵۰ و ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال و نمودارهای

اسکیوتی در دوره‌های بحرانی الگوی نوع دوم نشان داد که در این روزها الگویی متفاوت از الگوی نـوع A در سـطح زمین و سطوح بالا بر منطقه حاکم می‌گردد. بررسی نقشه‌ها و نمودارهای این دوره نشان داد که در زمـان شـروع و اوج دوره بحرانی، زبانه‌های پرفشار سیبری در حال گسترش و پیشروی به سـوی منطقـه بـوده و بـا خـارج شـدن زبانه‌های پرفشار سیبری از جو منطقه، میزان آلودگی‌های جوی نیز فروکش مـی‌کننـد. سـرمایش سـطحی، افـزایش میزان هدر رفت گرما از طریق تابش موج بلند زمینی، نبود پوشش ابـری، اغتـشاش و ناپایـداری هـوا در لایـه‌هـای مختلف را متوقف ساخته و شرایط پایداری را در جو بالا حاکم نموده است. در بیشتر این روزها، خطـوط پرارتفـاع در لایه‌های نزدیک به سطح زمین بر منطقه استیلا یافته است؛ بطوریکه امکان صعود هوا وجود نداشته و جو پایـدار و آرامی را همراه با هوای سرد و خشک به وجود آورده است.

برای تعیین الگوی مربوطه، ابتدا با استفاده از داده‌های ساعتی و روزانه آلودگی هوا، اقدام به تعیین روزهایی شـد که به‌طور متوالی مقادیر آلاینده‌ها از آستانه‌های خطر بالاتربودند. از تجمیع روزهای متـوالی بـالاتر از آسـتانه خطـر، دوره‌های بحرانی مشخص شد. در این دوره‌ها نیز با بررسی‌های به عمل آمده از مقادیر تمـام آلاینـده‌هـا، مـشخص شد که فقط آلاینده CO و NO_X به عنوان آلاینـده‌هـای مـسئول در آلـودگی هـوا شـناخته شـده و مقـادیر دیگـر آلاینده‌ها افزایش چندانی را نشان نمی‌دهند. مقادیر هر دو آلاینـده COوNO_X در ایـن دوره‌هـا، از آسـتانهٔ خطـر تجاوز نموده و به مرحله بحرانی رسیده است. کیفیت هوا در این دوره در حالت ناسالم قرار داشته است.

برای تشخیص وضعیت سینوپتیکی و دینامیکی سطح زمین و سطوح مختلف جو در این الگو، یکـی از دوره‌هـا به عنوان دوره شاخص برای مطالعات تکمیلی و تفصیلی یعنی دوره بحرانی ۲٤ تا ۲۷ آبان مـاه سـال ۱۳۸٦ (شـکل ٤) انتخاب شد. از بررسی تغییر غلظت آلاینده‌ها در طول شـبانه روز در ایـن دوره نیـز مـشخص شـد کـه افـزایش غلظت در ساعت‌هایی که انتظار افزایش در ترافیک شهری می‌رود، مشاهده شده است.



شکل ٤ تغییرات میزان آلاینده **CO** در آبان ماه ۱۳۸٦ در کرمانشاه

بررسی سینوپتیکی-دینامیکی دوره بحرانی ۲٤ تا ۲۷ آبان ماه سال ۱۳۸٦

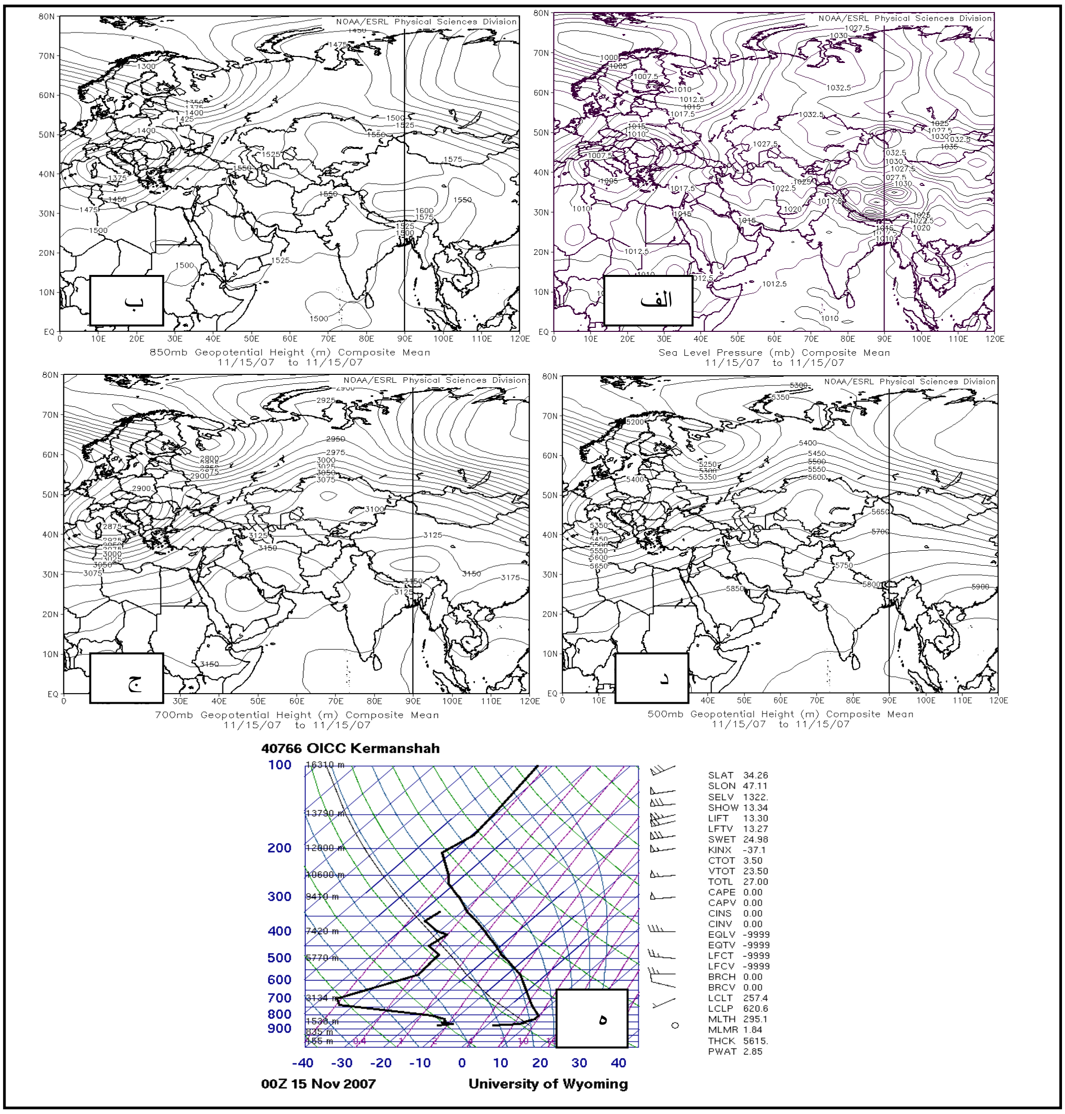
بر اساس نقشه سطح زمین و ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال در (شکل ۵، الف تا د)، آرایش سامانه‌های جوی بدین صورت است که یک مرکز پرفشار چندهسته‌ای بر روی نواحی شمالی چین و شمال رشته کوه‌های هیمالیا شکل گرفته است که حکایت از گسترش زیاد پرفشار سیبری دارد. یکی از این هسته‌ها که بیشترین فشار را دارا می‌باشد با فشار مرکزی ۱۰۳۷۵/۵ هکتو پاسکال بر طول ۱۱۰ درجه شرقی و عرض ٤۵ درجه شمالی بسته شده است. این هسته پرفشار با ٦ منحنی بسته از انرژی قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. زبانه‌هایی از این پرفشار با امتداد شرقی-غربی تمام ایران از جمله غرب کشور را در بر گرفته است.

در این روز، منحنی هم فشاری با فشار ۱۰۲۲/۵ هکتو پاسکال با امتدادی مداری از روی افغانستان وارد ایران شده و پس از گسترش تا نواحی مرکزی ایران با امتداد جنوب شرقی-شمال غربی وارد شمال استان کرمانشاه شده و از آن پس با امتدادی نصف النهاری تا شمال ترکیه ادامه پیدا می‌کند. دمای هوا در ساعت سه و نیم صبح این روز برای شهر کرمانشاه ۱ درجه سانتی‌گراد بالای صفر ثبت شده است که با توجه به مکانیسم حاکم بر منطقه، هوای سرد عرض‌های بالا و نواحی مرکزی ایران از طریق جریانات شرقی و جنوب شرقی وارد شهر کرمانشاه می‌شود.

نمودار اسکیوتی در شکل ۵ (د)، نشان می‌دهد که میزان رطوبت نسبی در سطح زمین پایین بوده (۳۲ درصد) است. باد نیز از سرعت قابل توجهی برخوردار نبوده و هوای آرامی گزارش شده است. وجود این شرایط، جو پایداری را در سطح زمین به وجود آورده است. شدت وارونگی دما در این تاریخ، ۰،۰۲۹ است که با توجه به ارتفاع آن، مقدار بالایی محسوب نمی‌شود.

در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در این روز، آرایش سامانه‌ها شباهت زیادی به سامانه‌های در سطح زمین دارد. مرکز واچرخندی با ارتفاع ۱٦۰۰ ژئوپتانسیل متر بر طول ۹۸ درجه شرقی و عرض ۳٤ درجه شمالی بسته شده است. زبانه‌ای از این مرکز واچرخندی با ارتفاع ۱۵۵۰ ژئوپتانسیل متر با عبور از روی افغانستان با راستای مداری وارد ایران شده و با عبور از روی خلیج فارس در شمال عربستان، امتداد نصف النهاری پیدا می‌کند. به این ترتیب شرایط دینامیکی حاصل از فعالیت سامانه فوق سبب شده است که امکان صعود هوا در زیر این سطح و سطوح بالاتر (شکل ۵، ج و د)، وجود نداشته باشد. سردی بیشتر دما، جو آرام و پایداری را به وجود آورده است؛ بطوریکه تا ارتفاع ۳/۱ کیلومتری (تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) هیچ بادی با سرعت و جهت مشخص ثبت نشده است. نزول هوا در این لایه که ناشی از جریانات جنوبی و جنوب غربی در ترازهای بالاتر است باعث شده است که هوا ضمن نزول، منقبض شده و دمای آن نسبت به لایه زیرین گرم تر باشد؛ بطوریکه در این سطح، دمای هوا برروی کرمانشاه براساس اطلاعات نمودار اسکیوتی، نزدیک به ۱۰ درجه سانتی گراد ثبت گردیده است. در نتیجه، شاهد یک لایه وارونه از سطح زمین تا ارتفاع ۸۰۰ هکتوپاسکال هستیم که در اثر ترکیب وارونگی فرونشینی با وارونگی تابشی در سطح به وجود آمده است.

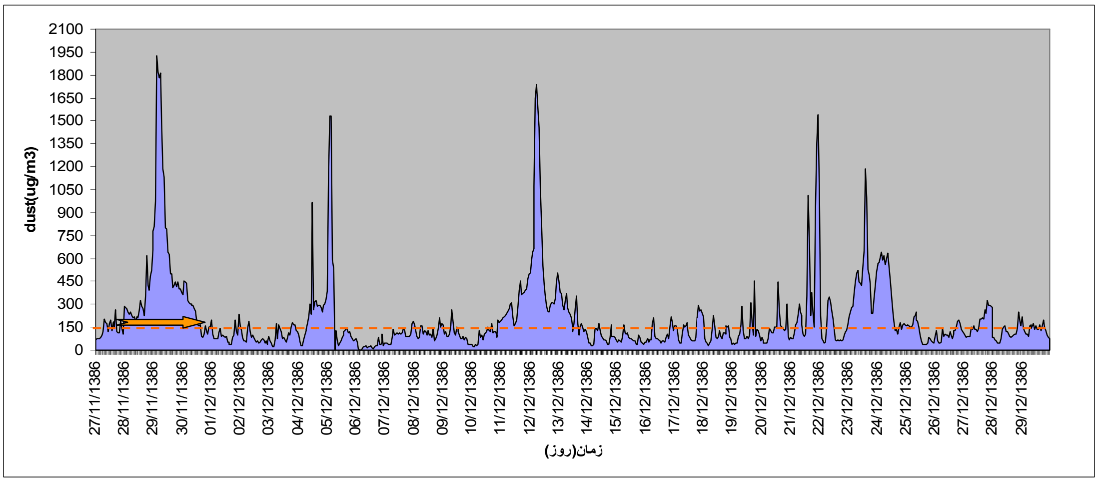
بر روی نقشه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، مرکز پر ارتفاعی با منحنی ۳۱۷۵ ژئوپتانسیل متر بر روی ناحیه جنوب و جنـوب غربی ایران یعنی طول ۵۰ درجه شرقی و عرض ۲۵ درجه شمالی بسته شده است. زبانه‌های این پرارتفاع با جهت جنـوب غربی– شمال شرقی تمام ایران را فراگرفته و سبب ایجاد یک پشته با ارتفاع زیاد بر نواحی غربی و شمالی ایران شده است. محور پشته شمالی–جنوبی بوده که بر روی نواحی مرکزی ایران قرارگرفته است. جهت جریانات بر روی شـهر کرمانـشاه جنوبی–جنوب غربی می‌باشد. شرایط دینامیکی فوق و ارتفاع زیاد لایه مذکور بر روی شهر کرمانشاه امکان نشست بیـشتر هوا را میسر می‌سازد. در سطوح بالاتر یعنی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۵ د)، جریانات قوی گزارش نشده است. چینش عمودی سرعت و جهت باد نیز منظم می‌باشد که این امر، نشان دهنده پایداری در تمام سطوح جو می‌باشد.



شکل ۵ نقشه‌های ۱۵ نوامبر ۲۰۰۷ در سطح زمین (الف)، تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (ب)، تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (ج) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (د) و نمودار اسکیوتی در همین روز (ه).

شرایط سینوپتیکی- دینامیکی الگوی نوع سوم (C) آلودگی هوا

در این الگو وضعیت جوی در سطح زمین و سطوح بالا با دو الگوی دیگر متفاوت است. در دو الگوی دیگر وجود پایداری باعث افزایش آلودگی شده است؛ درحالی‌که در این الگو، کاهش پایداری و افزایش ناپایداری و بعضی از شرایط خاص آلودگی را به دنبال داشته است. در این الگو، منشاء مواد آلاینده و نوع آن‌ها نیز متفاوت می‌باشد. قدرت آلایندگی آن‌ها به واسطه گستردگی چشمه‌ها و منابع، بالا بوده و در مقیاسی بزرگ‌تر نسبت به دو الگوی دیگر اتفاق می‌افتد. این آلودگی‌ها، گاه صدها و هزاران کیلومتر مناطق دورتر از چشمه‌های خود را نیز آلوده می‌سازند. در این مطالعه این مواد طبیعی را که منشاء و خاستگاهی فرا منطقه‌ای دارند تحت عنوان ذرات معلق نامیده شده‌اند.



شکل ٦ تغییرات روزانه ذرات معلق هوا در اسفند ماه ۱۳۸٦ بر روی کرمانشاه

بررسی سینوپتیکی- دینامیکی موج بحرانی ذرات معلق ۲۸ تا ۳۰ بهمن ماه سال ۱۳۸٦

با توجه به داده‌های موجود و در دسترسی به داده‌های توان دید در ایستگاه‌های شاهد (ایستگاه‌های سینوپتیک اسلام آباد غرب، کنگاور و سرپل ذهاب)، موج ریزگردها (ذرات معلق) مربوط به روزهای ۲۸ تا ۳۰ بهمن ماه ۱۳۸٦ به عنوان موج شاخص انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت (شکل ٦).

در روز ۱۷ فوریه ۲۰۰۸ که مصادف با روز شروع موج انتخابی است، یک مرکز کم فشار دینامیکی در طول ۳۰ درجه شرقی و عرض ۳۵ درجه شمالی با دو هسته مرکزی با فشار ۱۰۰۵ هکتوپاسکال بر روی دریای مدیترانه و جنوب ترکیه تشکیل شده است. منطقه غرب ایران در این روز تحت تأثیر زبانه پرفشار ۱۰۲۵ هکتوپاسکالی ناشی از پرفشار اروپایی قرار دارد. موقعیت و فاصله مراکز کم فشار در روز اول شروع موج نسبت به منطقه غرب کشور به نحوی است که تأثیر کمتری در تولید ریزگرد دارد. اما با توجه به میزان ذرات معلق موجود در هوای کرمانشاه، این روز نیز آلوده تلقی می‌شود. دمای این روز کرمانشاه در ساعت ۱۵/۳۰، ۱۲ درجه سانتی گراد گزارش شده است. میزان رطوبت نسبی ۲۰ درصد و هوا در سطح زمین آرام گزارش شده است. بر اساس شاخص‌های ناپایداری، شرایط تقریباً پایداری بر هوای شهر حاکم است.

در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۷ د)، در روز شروع موج، یک فرود عمیق در محدوده جغرافیایی ۲۰ تا ٤٥ درجه طول‌های شرقی و ۲۰ تا ٦۰ درجه عرض شمالی دیده می‌شود. نحوه استقرار محور فرود در روز اول بررسی موج انتخابی به صورت مایل بوده و بیشتر در جهت شمال شرقی –جنوب غربی کشیده شده است. منطقه غرب ایران و مخصوصاً، جو کرمانشاه تا حدودی تحت تأثیر امواج ناپایدار قرار دارد. همچنین در این روز یک منحنی پرارتفاع بر روی جنوب عربستان و دریای عمان با ارتفاع ۵۹۰۰ ژئوپتانسل متر بسته شده است که سبب به وجود آمدن یک پشته در نواحی مرکزی ایران شده است. جهت جریانات بر روی شهر کرمانشاه در این سطح، جنوب غربی می‌باشد.

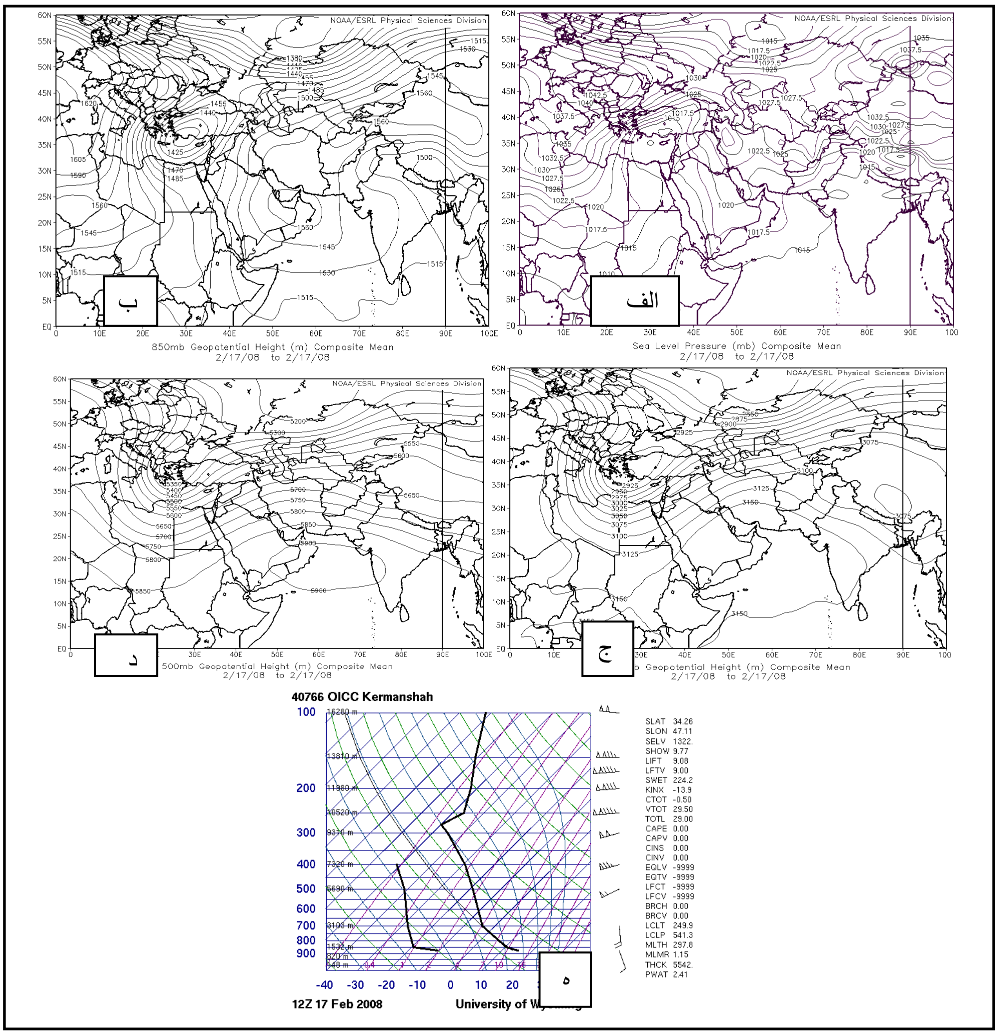
در روز اوج آلودگی در این الگو، که همزمان با روز ۱۸ فوریه ۲۰۰۸ است، کم فشار دینامیکی گسترش خود را به سمت شرق ادامه داده و در طول ۳۷ درجه شرقی و عرض ۳۵ درجه شمالی بر روی کشورهای عراق، سوریه، اردن و شمال شبه جزیره عربستان قرارگرفته است. زبانه‌های آن با جهت جنوب شرقی- شمال غربی تمام نواحی غربی کشور را در برگرفته‌اند. با توجه به موقعیت استقرار مرکز کم فشار در روز اوج نسبت به شهر کرمانشاه و همچنین گردش پادساعتگرد هوا در این سیستم‌ها، جریان هوا عمدتاً از روی نواحی بیابانی کشورهای عراق و سوریه و اردن و همچنین شمال شبه جزیره عربستان (بیابان نفوذ) به سوی ایران و منطقه مورد مطالعه هدایت می‌شود. در ایجاد این شرایط، بیابان‌های شمال آفریقا نقش کم‌تری را برعهده دارند. علاوه بر این، در سطح زمین، در استان‌های زنجان و قزوین یک منحنی بستهٔ ناشی از عقب نشینی زبانه پرفشار اروپایی به دلیل سرمایش بیشتر سطح زمین حاکم شده است. این منحنی بسته، گرادیان فشاری شدیدی را بین نواحی غربی و منطقهٔ مورد مطالعه در سطح زمین ایجاد کرده است که خود به عنوان یک عامل مضاعف به افزایش ناپایداری‌ها در منطقه غربی کمک کرده است.

نمودار ترمودینامیک مربوط به این روز نیز از افزایش ناپایداری‌ها در هوای شهر کرمانشاه خبر می‌دهد. سرعت باد در سطح زمین در ساعت سه و نیم بعد ظهر افزایش پیدا کرده و به ۱۸–۲۲ نات (۳۳–٤۰ کیلومتر در ساعت) رسیده است. جهت جریانات برروی کرمانشاه جنوبی و جنوب شرقی است. دما در این ساعت ۱۸ درجه سانتی گراد بالای صفر است، رطوبت نسبی نیز در سطح زمین و در این ساعت برای شهر کرمانشاه ۳۵ درصد می‌باشد. با توجه به وزش بادهای شدید، خشکی هوا و افزایش دما در این موقع از روز، انتظار بیشترین ناپایداری همراه با بیشترین آلودگی ذرات معلق را داریم که در نمودار اسکیوتی (شکل ۷ ه) روز ۱۸ فوریه، وضعیت را نشان می‌دهد.

در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز اوج، محور فرود عمیق‌تر شده و در جهت شمال- شمال شرق به جنوب–جنوب غرب کشیدگی بیشتری یافته است. مختصات جغرافیایی محدوده استقرار محور فرود در این روز بین ۱۵ تا ٤۰ درجه طول شرقی و ۲۰ تا ٦۰ درجه عرض شمالی می‌باشد. نحوه استقرار آن به این ترتیب است که با عبور از روی دریای سیاه و ترکیه با جهت جنوب غربی، بر روی شرق دریای مدیترانه و تا حدودی شمال شرق آفریقا کشیده شده است. در واقع محور فرود در این روز به منطقه نسبتاً مشترکی با کم فشار سطح زمین رسیده که با استقرار آن‌ها در آنجا و در کنار سایر عوامل از قبیل میزان خشکی زمین و هوا، موجب ایجاد افزایش ذرات معلق شده است. همچنین در این روز وضعیت قرارگیری محورهای فرود به

نحوی است که توان هدایت و ارسال توده‌های هوا را از بیابان‌های شمال شرق آفریقا، شبه جزیره عربستان، عراق، سوریه و اردن به سوی ایران را دارا می‌باشند و ریزگردهای این مناطق را به سوی منطقه غرب می‌کشانند. البته بیابان‌های عربستان، عراق، و سوریه و اردن به لحاظ نزدیکی بیشتر به منطقه نقش بیشتری نسبت به صحرای آفریقا دارند.

از نظر سینوپتیکی نیز با توجه به موقعیت قرارگیری فرودها، این موضوع برای سایر موج‌های گرد و غباری نیز تأیید می‌شود؛ زیرا، اولاً مناطق بیابانی مذکور در قسمت جلوی محور فرود یعنی قسمت ناپایدار یک فرود واقع شده‌اند. ثانیاً، تعداد فرودهایی که در بررسی دوره‌ها و موج‌های ریزگرد دیگر در این ناحیه مستقر هستند، نسبت به فرودهایی که بر روی صحرای آفریقا مستقر هستند بیشتر است. بررسی اسکیوتی مربوطه در روز اوج و در این سطح نیز از وزش بادهایی با سرعت بالا در جهت جنوب غربی خبر می‌دهد. فاصله منحنی‌های دمای هوا و نقطه شبنم نیز از وجود ابرهای کم‌عمق در حوالی تراز ٦٠٠ هکتوپاسکال خبر می‌دهد. چینش سرعت باد نامنظم و جهت آن در سطح زمین، از پایین به بالا در جهت عقربه‌های ساعت بوده که از فرا رفت هوای گرم خبر می‌دهد.



شکل ۷ نقشه‌های ۱۷ فوریه ۲۰۰۸ در سطح زمین(الف)، تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال(ب)، تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال(ج) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال(د) و نمودار اسکیوتی در همین روز (ه).

۵. نتیجه‌گیری

جدول ۳ برای بررسی تطبیقی شرایط هواشناسی الگوهای سه گانه ارائه شده است. مطابق اطلاعات این جدول، از نظر شرایط دمایی، معمولاً با توجه به اینکه شرایط وقوع الگوی A بیشتر در طول زمستان مهیا می‌باشد، میزان دما نیز نسبت به الگوی B پایین است. درحالی‌که در الگوی C، با توجه به اینکه زمان وقوع آن معمولاً در فصول بهار و اواخر پاییز است، میزان دما بیش از دو الگوی دیگر می‌باشد. میزان رطوبت در الگوی A بیش از الگوی B و C است. در اکثر روزهای دوره بحرانی، در الگو A میزان محتوای رطوبتی هوا بالا بوده و در اوائل صبح در بیشتر این روزها، مه در سطح زمین تشکیل شده است که این پدیده، موجب افزایش آلودگی هوا شده و شرایط نامناسب تنفسی را برای ساکنان شهر ایجاد کرده است. عبور توده هوای اقیانوسی قطبی (mP) در اثر گسترش زبانه‌های پرفشار دینامیکی اروپا، از روی منطقه مرطوب مدیترانه، سبب شده این توده هوا تغییر ماهیت داده و به توده هوای مدیترانه‌ای تبدیل شود. درحالی‌که در الگوی B، به دلیل ورود توده‌های هوایی قاره‌ای قطبی (cP) به جو منطقه در اثر گسترش زبانه‌های پرفشار سرمایشی سیبری، هوای خشک با محتوای رطوبتی پایین در سطح منطقه وارد می‌شود. به‌طورکلی، توده هوایی سیبری سردتر از نوع مدیترانه‌ای است اما به دلیل برخورد با سد کوهستانی زاگرس، مجبور به صعود از دامنه شرقی آن شده که به واسطه تراکم، رطوبت بیشتری از دست می‌دهد. این توده‌هوا، در دامنه غربی به دلیل نزول آدیاباتیک، تا حدودی گرم تر می‌شود که دلیل افزایش دمای توده‌هوای سیبری در کرمانشاه در دوره مورد نظر احتمالاً همین امر بوده است.

جدول ۳ میانگین برخی از پارامترهای هواشناسی در طول دوره‌های آلودگی هوا در الگوهای **A**، **B** و **C**

نوع الگو	میانگین فشار در سطح زمین (HPA)	میانگین دمای هوا در سطح زمین (°C)	میانگین رطوبت نسبی هوا در سطح زمین (٪)	میانگین سرعت باد در سطح زمین (knot)	میانگین جهت باد در سطح زمین	میانگین ارتفاع اینورژن ها (m)	متوسط شدت اینورژن ها
الگوی A	۱۰۲۲	۱-	۸۷	۲	جنوب شرقی	۳۷۰	۰٫۰۳۵ متوسط
الگوی B	۱۰۲۰	۳	٤۰	آرام	-	۵۱۷	۰٫۰٤٤ شدید
الگوی C	۱۰۰۵	۱۸	۳٤	۲۲-۱۸	جنوبی	-	مشاهده نشده

سرعت بادها در الگوی A زیاد نیست که این امر، سبب اختلاط بیشتر هوای نزدیک به سطح زمین شده است. سرعت آرام باد یکی از عوامل تشدید کننده آلودگی هوا در منطقه است. اما در الگوی B، بر خلاف الگوی A، هیچ بادی با سرعت مشخص ثبت نشده و هوای دوره‌ها در این الگو آرام گزارش شده است. این عامل را می‌توان تا حدودی به خشکی هوا در این الگو ربط داد. همچنین گلبادهای ماهانه (ارائه نشده است) نیز نشان می‌دهند که در فصل پاییز (زمان وقوع الگوی B)، درصد بادهای آرام بیش از فصول دیگر است که این امر نشان دهنده سکون بیشتر هوا در این ماه‌ها می‌باشد.

در الگوی C، وضعیت متفاوتی حاکم است به‌نحوی‌که، برخلاف دو الگوی قبل، سرعت بالای باد یکی از پارامترهای اساسی در ایجاد آلودگی است. معمولاً با شروع دوره‌ها رفته رفته این سرعت افزایش پیدا کرده و در روز اوج به حداکثر خود رسیده است. میزان گسترش ذرات گرد و غبار نیز به سرعت باد بستگی دارد؛ بطوریکه هرچه سرعت باد بالا باشد میزان انتقال ذرات نیز بیشتر خواهد بود و می‌تواند حتی ذرات را در مقیاس قاره‌ای جابه‌جا کند. در این بررسی میانگین سرعت باد در طول موج‌های گرد و غباری ۱۸–۲۲ نات بوده است که معادل ۳۳– ٤۰ کیلومتر در ساعت است. این سرعت، برای انتقال ذرات معلق در مقیاس منطقه‌ای مناسب می‌باشد.

بررسی میانگین شدت وارونگی‌های دمایی در طول دوره‌های آلودگی نشان می‌دهد که در الگوی A، معمولاً اینورژن ها شدت بالاتری نسبت به الگوی B دارند. دلیل این امر را می‌توان در خصوصیات توده‌های هوای تشکیل دهنده آن‌ها جستجو کرد. در الگوی B، به دلیل نزول دینامیکی هوا، ترکیب بیشتر وارونگی‌های سطحی با وارونگی‌های حاصل از فرونشینی هوا در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال رخ داده است. این عامل سبب افزایش سقف لایه وارونه شده است که خود کاهش شدت وارونگی‌ها را به دنبال داشته است. درحالی‌که در الگوی A، علاوه بر نزدیک بودن سقف لایه وارونه به سطح زمین، سرمایش زیاد سطح زمین نسبت به سطوح بالاتر نیز سبب تغییرات دمایی زیاد در طول این لایه شده است که خود سبب تشدید وارونگی‌ها در این الگو شده است. در الگوی C نیز، به دلیل وجود ناپایداری شدید در تمامی سطوح جو و مصادف شدن زمان اوج آلودگی با نیم روز در این مطالعات، وارونگی دمانی مشاهده نشده است. نکته مهم دیگر، توجه به جهت باد در طول دوره‌های آلودگی هوا است که همه الگوها رفتاری یکسانی را نشان می‌دهند. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، در طول دوره‌های آلودگی، اگر بادی با جهت مشخصی بر سطح شهر کرمانشاه وزیده باشد، جهت آن جنوب شرقی و جنوبی بوده است. این امر باعث تراکم هرچه بیشتر عناصر آلاینده در دامنه کوه‌های شمالی شهر کرمانشاه شده است؛ زیرا این کوه‌ها همانند مانعی عظیم در برابر آلاینده‌ها قرار داشته و راه خروج آن‌ها را سد کرده‌اند. در پایان دوره آلودگی، علاوه بر افزایش سرعت بادها در الگوی A و B و کاهش سرعت در الگوی C، تغییر جهت باد نیز صورت گرفته است؛ بطوریکه، از سمت غرب و جنوب غرب بر شهر کرمانشاه وزیده‌اند. علاوه بر این، به دلیل نبود مانع در این مسیر پراکنش و انتقال این بادها نیز به راحتی صورت گرفته است. این وضعیت، ناشی از موقعیت توپوگرافی خاص شهر کرمانشاه می‌باشد که

در جهت‌های شمال و جنوب توسط رشته‌کوه‌ها محاصره شده است. توجه به جهت بادها در ماه‌های فصل بهار نیز نشان می‌دهد که در این فصل، جهت بادها بیشتر غربی بوده که می‌توان آن را بدون در نظر گرفتن شرایط دیگر، یکی از عوامل کاهش میزان آلودگی دانست.

بیشترین فراوانی ذرات معلق در ماه‌های مورد بررسی مربوط به اسفند ماه ۱۳۸٦ بوده است که در مجموع با دو موج بحرانی با هشت روز آلوده، به عنوان آلوده‌ترین ماه در بین ماه‌های دوره مورد مطالعه انتخاب شده است. با توجه به میزان ذرات معلق در بازه زمانی معین (مقدار $150\ \mu g/m^3$ در مدت ۲٤ ساعت)، اقدام به تهیه روند ماهانه‌ای برای اسفند ماه شد که در این روند، ذرات معلق، به‌طور متوالی جو شهر کرمانشاه را متأثر کرده‌اند و دو دوره بحرانی ذرات معلق محلی هم در طول دوره مشاهده شد که میزان آلودگی آن‌ها در حد نسبتاً پایینی بود.

کتابنامه

اردکانی، سهیل سبحان و همکاران؛ ۱۳۸۵. تعیین کیفیت بهداشتی هوای تهران در سال ۱۳۸۳ با استفاده از شاخص کیفیت هوا. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست. دوره هشتم، شماره ٤ ۳۸-۳۳.

امیری، مه‌لقا؛ ۱۳۸۵. تأثیر عوامل و عناصر آب و هوایی در تشکیل آلودگی هوای تهران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. گروه جغرافیای دانشگاه تهران.

بلوکی، میترا؛ ۱۳۷۹. مطالعه و بررسی آلودگی هوای اصفهان و عوامل اقلیمی مؤثر بر آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. گروه جغرافیای دانشگاه اصفهان.

خراسانی، نعمت الله و همکاران؛ ۱۳۸۱. بررسی و مقایسه کیفیت هوا در شهرهای تهران و اصفهان در سال ۱۳۷۸ و ارائه راهکارهایی برای بهبود. مجله منابع طبیعی ایران. جلد ۵۵، شماره ٤، ٥٦٧-٥٥۹.

ذوالفقاری، حسن؛ حیدر، عابدزاده؛ ۱۳۸٤. تحلیل سینوپتیک سیستم‌های گرد و غبار در غرب ایران. مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۲، ۱۸۷-۱۷۳.

رتالاک، بی.جی؛ ۱۳٦٥. هواشناسی فیزیکی. ترجمه سید علیرضا صادقی حسینی. تهران. مرکز نشر دانشگاهی.

شرعی پور، زهرا؛ عباسعلی، علی اکبری بیدختی؛ ۱۳۸۸. شرایط هواشناسی جو بالا و وضعیت حاد آلودگی هوا؛ مطالعه موردی: شهر تهران. مجله محیط‌شناسی. سال ۳۵، شماره ۵۲، ١٤-۱.

شرعی پور، زهرا؛ ۱۳۸۹. بررسی غلظت آلاینده‌های هوا و ارتباط آن با پارامترهای هواشناسی. مجموعه مقالات فیزیک و فضا. چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک. تهران ۲۱ تا ۲۳ اردیبهشت ۸۹ موسسه ژئوفیزیک. ۲۱٦- ۲۱۳.

صفوی، سید یحیی؛ بهلول، علیجانی؛ ۱۳۸۵. بررسی عوامل جغرافیای در آلودگی هوای تهران. پژوهش‌های جغرافیایی.شماره ۵۸ ؛ ۱۱۲-۹۹.

عابدینی، علی؛ ۱۳۷۸. اثر پایداری شدید بر تمرکز آلودگی هوای شهرهای دره‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد.گروه هواشناسی دانشگاه تربیت مدرس.

عزتیان، ویکتوریا؛ ۱۳۸٦. بررسی تأثیر عوامل هواشناسی بر روی شاخص کیفیت هـوا در شـهر اصـفهان. پایـان‌نامـه کارشناسـی ارشد.گروه جغرافیای دانشگاه اصفهان.

علیجانی، بهلول؛ ۱۳۸٤. رابطه بین توزیع فشار و تراکم آلاینده‌ها در تهران. مجله پژوهش‌های جغرافیایی. شماره۳۷، ٤۰-۲۹.

قسامی، طاهره و همکاران؛ ۱۳۸٦. بررسی شرایط سینوپتیکی حاکم بر چند دوره بحرانی آلودگی هوای شهر تهران. مجله علـوم و تکنولوژی محیط زیست. شماره ۹۰ ، مسلسل ۳٤، ۲۳۸-۲۲۹.

گندمکار، امیر؛ ۱۳۸۵. مدیریت بحران آلودگی هوای شهر اصفهان با پیش‌بینی استقرار پرفشار سـیبری. اولـین کنفـرانس مهندسـی برنامه‌ریزی و مدیریت سیستم‌های محیط زیست. دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد.

لشکری، حسن؛ پریسا، هدایت؛ ۱۳۸۵. تحلیل الگوی سینوپتیکی اینورژن‌هـای شـدید شـهر تهـران. پـژوهش‌هـای جغرافیـایی. شماره ٥٦ . ۸۲-٦٥.

Abedini, A., 1999. The effects of sever stability of weather on air pollutions in vally shape cities. M.A.Thesis. Meteorology department. Tarbiat modarres University.

Alijani, B., 2003. The relationships between pressure distribution and pollution density in Tehran city. Geographical Researches. 37, 29-40.

Amiri, M., 2006. Effects of climate factors and elements in construction of air pollutions in Tehran. M.A.Thesis. geography department of Tehran University.

Ardakani,S.S,; Esmaili Sary, A.; Cheraghi,M.;Tayyebi,L;and Ghasempour ,M., 2006.The determination of air quality in Tehran in 2004 using air quality index.Environmental Science and Technilogy.Vol 8,No 4:33-38

Bahaattin Celik, M.; and Kavy, I., 2004 . Relation Between Meteorological factors and pollutants concentrations in karabuk city. Journal of Science 20, 87- 95.

Blooki, M., 2000.The study of air pollution in Isfahan and review their effective factors. M.A. Thesis. Geography department of Isfahan University.

Ccoyllo, S. O. R., and Andrade, M. F. ; 2002. The influence of meteorological conditions on the behavior of pollutants concentrations in São Paulo, Brazil; Environmental Pollution.Vol 116, Issue 2, 257-263.

Elminir, H. K., 2005. Dependence of urban air pollutants on meteorology. Science of The Total Environment. Vol 350,225-237.

Ezzatian, V., 2005. The review of impacts of meteorological elements on air quality index in Isfahan city. M.A. Thesis. Geography department of Isfahan University.

Gandomkar, A., 2004. Critical air pollution management Isfahan city in relation to Siberian High. The first conference on planning engeneering and management of environmental systems. Azad University.Najafabad.

Ghasemi, T.; Alakbari Bidokhti, A.; Sedaghat Kerdar , A. and Sahraiyan, F., 2005. The study of synoptic condition of critical air pollution periods in Tehran. Science and technology of Environment. Vol 90 No 34: 229-238.

Finardi, S. and Pellegrini,U., 2002. Systematic analysis of meteorological conditions causing severe urban air pollution episodes in the central Poo Vally. ARIANET 9, 250-254.

Khorasani, N.; Cheraghi, M.; Naddafi, K.; and Karami, M., 2002. Review and comparision of air quality in Tehran and Isfahan cities in 1999. Natural Resources of Iran Journal. Vol 55 No 4: 559-567.

Lashkari, H.; Hedayat, P., 2004.The analysis of synoptic patterns of severe Inversions in Tehran. Geographical Researches 56, 65-82.

Retalac, B.G., 1984. Physical meteorology. Translated by: Sadeghi Hoseyni. Tehran. University Press center.

Safavi, S.Y.; and Alijani, B., 2004. The review of geographical factors impacts on Tehran air pollution. Geographical researches 58: 99-114.

Shareepour, Z., 2010. Review of air pollution density and its relation to meteorological elements. Physic and Space conference proceeding.21-23 May.Tehran.

Shareepour, Z.; Aliakbari Bidokhti, A., 2007. Meteorology condition of upper level and critical air pollution periods, case study: Tehran city. Environmental studies 52,1-14.

Zolfaghari, H.; and Abedzade, H., 2003. Synoptic Analysis of dust systems in west of Iran. Geography and development 2, 173-187.